

# ANALISIS SINKRONISASI CHAOTIK SIRKUIT CHUA SERTA APLIKASINYA DALAM SISTEM KEAMANAN KOMUNIKASI

Mada Sanjaya WS

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati, Bandung, INDONESIA

Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universiti Malaysia Terengganu, Kuala Terengganu 21030, MALAYSIA

e-mail: madasws@gmail.com

## ABSTRAK

*Sirkuit Chua merupakan sirkuit nonlinier sederhana yang dapat menghasilkan sistem dinamika chaotic termasuk kehadiran fenomena variasi bifurkasi dan attractor. Dalam makalah ini, telah dibuat desain dan simulasi numeric berdasarkan sirkuit dasar Chua. Hasil simulasi numeric dan eksperimen osiloskop digunakan untuk menunjukkan akurasi antara desain teoritik dan implementasi sirkuit yang dibuat. Program Matlab® and MultiSIM® digunakan untuk mensimulasikan secara numeric implementasi sirkuit Chua serta menunjukkan adanya gejala chaos. Dalam artikel ini, telah dikembangkan salah satu aplikasi sirkuit penghasil sinyal chaos sebagai modulator sinyal yang dapat digunakan dalam sistem keamanan komunikasi*

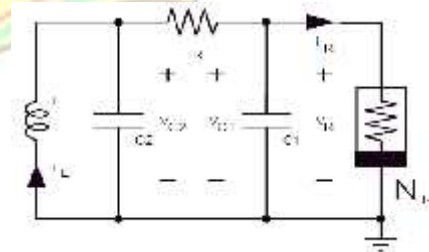
## 1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir teori chaos telah banyak menarik perhatian ilmuwan bidang sains murni maupun rekayasa teknik. Salah satu dari kajian penting dari teori chaos adalah aplikasinya dalam sistem keamanan komunikasi. Sinyal chaos sangat sensitif terhadap perubahan kondisi awal, mempunyai fitur dan noise yang tidak dapat diprediksi pada spektrum frekuensi tertentu. Jadi, dengan sifatnya yang unik tersebut, sinyal chaos memiliki potensi untuk dapat digunakan dalam berbagai aplikasi komunikasi khususnya dalam sistem keamanan komunikasi.

Landasan komunikasi berbasis chaos adalah teori sinkronisasi antara dua sistem chaos yang dapat terjadi pada parameter tertentu. Pada tahun 1990, Pecora dan Carrol [1],[2] telah mendemonstrasikan bahwa sistem chaos dapat disinkronisasi, penelitian ini menjadi awal penelitian lebih lanjut dalam mempelajari teori sinkronisasi dua sistem chaos yang identik serta beberapa aplikasinya yang dapat digunakan sebagai metode baru dalam sistem keamanan komunikasi.

Dalam artikel ini, telah digunakan sistem sirkuit elektronik yang sederhana dalam

pengembangan skema sistem keamanan komunikasi berbasis chaos dengan dua sirkuit Chua yang terkopling. Pertama, kita meneliti secara terpisah setiap sirkuit osilator untuk mempelajari perilaku dinamisnya ketika satu parameter kontrol divarisikan. Selanjutnya, dikembangkan efek sinkronisasi dalam dua sistem sirkuit terkopling serta parameter terjadinya sinkronisasi dua sistem chaos. Terakhir, mengaplikasikan teori sinkronisasi chaos dalam sistem keamanan komunikasi, dengan menggunakan parameter terjadinya chaos dan terjadinya sinkronisasi chaos dibuatlah skema sirkuit serta simulasi numeric sistem keamanan komunikasi berbasis sinyal chaos..



Gambar. 1. Skema sirkuit Chua.

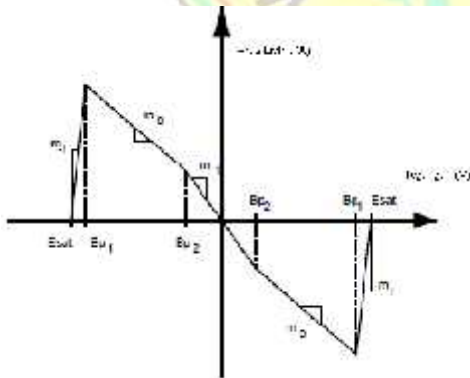
## 2. DINAMIKA CHAOTIC SIRKUIT CHUA

Sirkuit Chua [3]-[8], seperti ditunjukkan pada Gambar. 1 adalah sirkuit osilator yang dapat menghasilkan fenomena bifurkasi dan chaos. Sirkuit ini terdiri dari tiga elemen linier penyimpan energi ( satu induktor dan dua kapasitor), sebuah resistor linier, serta sebuah resistor non-linier NR. Dengan menggunakan hukum Kirchhoff, sirkuit Chua dapat digambarkan dalam tiga persamaan diferensial biasa sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} &= G(v_{C2} - v_{C1}) - g(v_{C1}) \\ C_2 \frac{dv_{C2}}{dt} &= G(v_{C1} - v_{C2}) + i_L \\ L \frac{di_L}{dt} &= -v_{C2} \end{aligned} \quad (1)$$

yang mana

- $v_{C1}$  = tegangan pada kapasitor  $C_1$ ,
- $v_{C2}$  = tegangan pada kapasitor  $C_2$ ,
- $i_L$  = arus yang melalui induktor,
- $C$  = kapasitansi kapasitor,
- $L$  = induktansi induktor, dan
- $G$  = konduktansi resistor R.



Gambar. 2. Fungsi resistor non-linier sirkuit Chua.

adalah karakteristik arus-tegangan non-linier dari resistor non-linier sebagaimana ditunjukkan pada Gambar. 2, dapat ditulis sebagai

$$g(v_{C1}) = g(v_R) = m_0 v_R + \frac{1}{2} (m_1 - m_0) [ |v_R + B_p| - |v_R - B_p| ] \quad (2)$$

yang mana adalah gradient dalam dan luar, dan menunjukkan kondisi terjadinya breakpoints. Resistor R adalah sebuah potensiometer dan digunakan sebagai parameter kontrol yang menghasilkan fenomena bifurkasi dari atraktor periodik sampai atraktor chaos.

Penetapan nilai parameter dua buah kapasitor, induktor dan resistor telah dibuat oleh Matsumoto [3]. Esat adalah tegangan saturasi dari komponen op-amp yang besarnya ditentukan oleh catu daya dan karakteristik internal dari op-amp. Resistor non-linier terdiri dari dua buah resistor yang terhubung secara paralel. Secara detail desain resistor non-linier telah dibuat oleh Kennedy [4].

Konstanta  $m_0$ ,  $m_1$ , dan  $B_p$  telah ditentukan oleh Kennedy [4].

$$\left( \begin{aligned} m_1 &= -\frac{R_2}{R_1 R_3} - \frac{R_5}{R_4 R_6}, m_0 = -\frac{R_2}{R_1 R_3} + \frac{1}{R_4}, \\ B_{p1} &= \frac{R_3}{R_2 + R_3} E_{sat}, B_{p2} = \frac{R_6}{R_5 + R_6} E_{sat} \end{aligned} \right) \quad (3)$$

Dalam artikel ini telah dibuat simulasi numeric untuk menggambarkan fenomena dinamika dari sirkuit Chua dengan menyelesaikan persamaan (1). Simulasi numeric dari solusi persamaan diferensial (1) dibuat menggunakan MATLAB, dengan metode Runge-Kutta berorde empat.

Hasil simulasi numeric yang dibuat memperlihatkan kehadiran fenomena bifurkasi ditunjukkan pada Gambar. 3. Untuk menunjukkan perubahan dinamika sistem (1), parameter R dibuat bervariasi sebagai parameter kontrol, sedangkan parameter yang lain dibuat tetap seperti yang ditunjukkan pada table 1.

Tabel 1 Parameter Sirkuit Chua

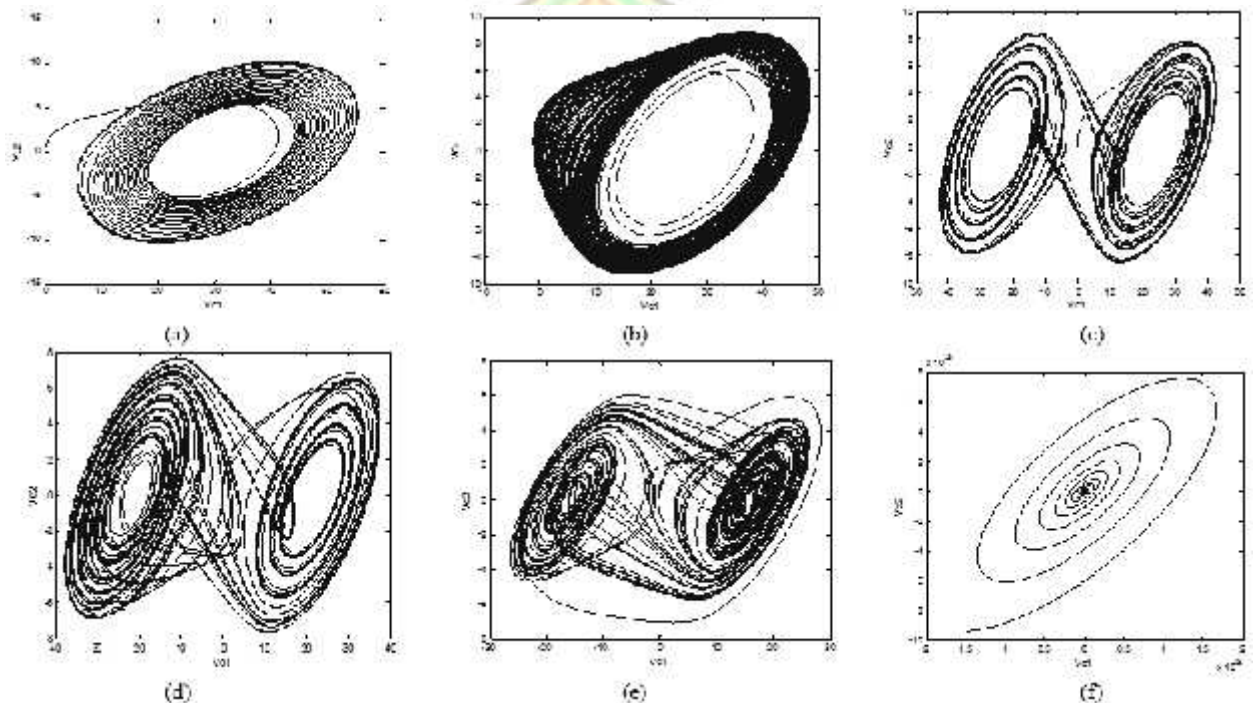
Simbol	Komponen	Nilai	Toleransi
R <sub>1</sub>	Resistor	220	± 5 %
R <sub>2</sub>	Resistor	220	± 5 %
R <sub>3</sub>	Resistor	2.2k	± 5 %

Simbol	Komponen	Nilai	Toleransi
R <sub>4</sub>	Resistor	22k	± 5 %
R <sub>5</sub>	Resistor	22k	± 5 %
R <sub>6</sub>	Resistor	3.3k	± 5 %
C <sub>1</sub>	Kapasitor	10nF	± 5 %
C <sub>2</sub>	Kapasitor	100nF	± 5 %
L	Induktor	18mH	± 10 %
R	Potentiometer	bervariasi	± 5 %
E <sub>sat</sub>	Power Supply	9 V	
	Op amp		
U1A	TL082CD		
U1B	TL082CD		

Dengan memvariasikan nilai resistor variabel  $R$  dari 2 k menuju nol, sirkuit Chua menghasilkan fenomena bifurkasi Hopf dari titik senter *limit cycle equilibrium* dan

*period-doubling* menjadi sebuah atraktor bertipe Rossler, dari atraktor bertipe Rossler berubah menjadi atraktor aneh *Double Scroll*, dan dari atraktor aneh *Double Scroll* berubah menjadi *spiral tak stabil* sebagaimana diperlihatkan pada Gambar. 3.

Pada Gambar. 3. ditunjukkan bahwa parameter  $R$  mejadi parameter kontrol yang dapat menghasilkan fenomena perubahan atraktor dari periodik stabil menjadi chaos, dan dari chaos menjadi periodik tak stabil sebelum akhirnya atraktor menghilang.



Gambar. 3. Simulasi numeric: Bifurkasi sirkuit Chua dengan parameter control  $R$  (a)  $R = 2:00k$ ; limit cycle (b)  $R = 1:95k$ , atraktor bertipe Rossler; (c)  $R = 1:9k$ , atraktor Double Scroll; (d)  $R = 1:85k$ , atraktor Double Scroll; (e)  $R = 1:7k$ , atraktor Double Scroll; (f)  $R = 1:65k$ , limit cycle tak stabil.

### III. SINKRONISASI CHAOTIC SIRKUIT CHUA

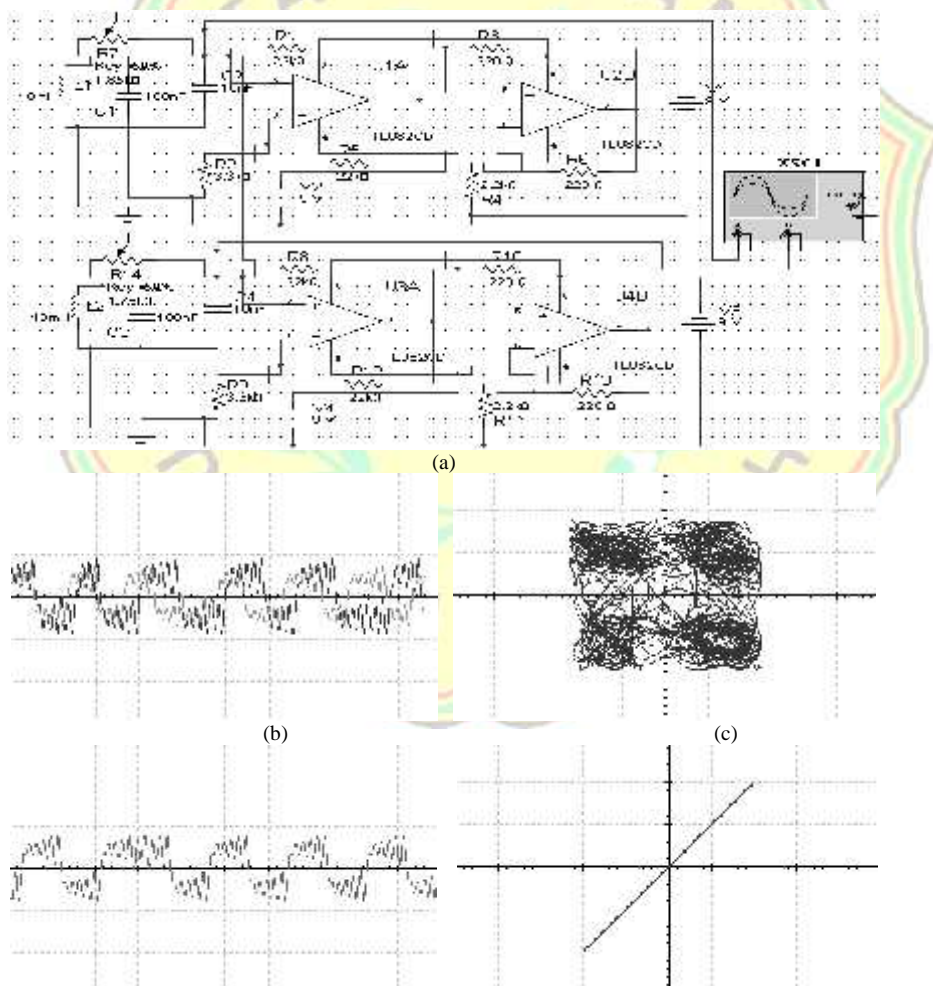
Sinkronisasi antar sistem *chaotic* telah banyak menarik perhatian ilmuwan, dan menjadi metode baru dalam aplikasi sistem komunikasi. Dengan mengkopling dan metode sinkronisasi sistem *chaotic* yang identik, sebuah sinyal informasi yang dikirimkan dari sebuah sistem *transmitter* dapat dihasilkan

kembali secara lengkap pada sistem *receiver* meski dirambatkan dengan modulasi sinyal *chaotic* melalui metode sinkronisasi. Dalam artikel ini, telah didesain, dibuat dan dianalisis menggunakan simulasi *numeric* pengembangan sistem *drive* dan sistem *response* dalam sistem komunikasi berbasis sinyal chaos.

Sinkronisasi *chaotic* pada sistem dinamika terkopel merupakan generalisasi dari sinkronisasi sistem linier yang dapat dimanfaatkan dalam sistem komunikasi. Ide dari metode ini adalah menghasilkan ulang seluruh sinyal pada *receiver* dari sinyal *chaotic* yang dihasilkan pada sistem *driver*. Karena hal itulah, sinkronisasi *chaotic* berpotensi untuk diaplikasikan dalam sistem komunikasi maupun pemrosesan sinyal [9]-[12]. Untuk membangun sebuah sistem keamanan komunikasi faktor teknispun sangat mempengaruhi kinerja dari sistem yang dibuat.

Simulasi sinkronisasi dari sistem Chua dapat ditunjukkan pada Gambar. 4.

Parameter kontrol  $R$  dari kedua sistem dibuat berbeda, dalam hal ini nilai  $R$  dari sistem *drive* adalah 1.85 kohm, sedangkan parameter control  $R$  dari sistem *response* adalah 1.75 kohm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kedua sistem tersinkronisasi dengan baik. Gambar. 4 memperlihatkan skema implementasi dari sinkronisasi sistem Chua. Dalam Gambar. 4 juga menunjukkan hasil simulasi sinkronisasi *chaotic* dari sirkuit Chua menggunakan MultiSIM®



Gambar. 4. Sirkuit dan simulasi MultiSIM® : (a) sinkronisasi sirkuit Chua; (b) sistem *drive* dan *response* sinyal *chaotic* sebelum sinkronisasi; (c) Diagram fase sistem tak-sinkron; (d) sistem *drive* dan *response* sinyal *chaotic* setelah sinkronisasi; (e) sinkronisasi X-Xr.

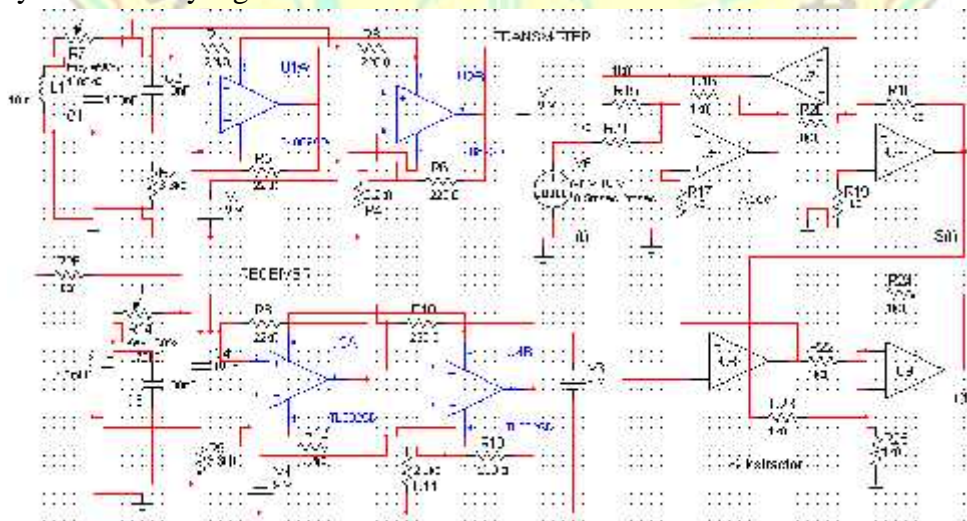
#### IV. APLIKASI PADA SISTEM KEAMANAN KOMUNIKASI

Dengan adanya fakta bahwa sinyal output dapat menghasilkan kembali sinyal input, hal ini mengindikasikan bahwa pada sistem tersebut memiliki potensi untuk dapat diimplementasikan menjadi salah satu metode dalam sistem keamanan komunikasi berbasis chaos. Kehadiran sinyal chaos diantara *transmitter* dan *receiver* menunjukkan bahwa sistem *chaotic* dapat digunakan dalam sistem keamanan komunikasi. Desain dari sistem ini sangat bergantung pada adanya kemampuan untuk terjadinya sinkronisasi *chaotic* antara sistem *drive transmitter* dan sistem *response receiver*. Dalam artikel ini, sistem *transmitter* dan sistem *receiver* dibuat identik kecuali nilai parameter kontrol  $R$ , dimana pada sistem *transmitter* bernilai 1.85 kohm dan pada sistem *receiver* bernilai 1.75 kohm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar. 4.

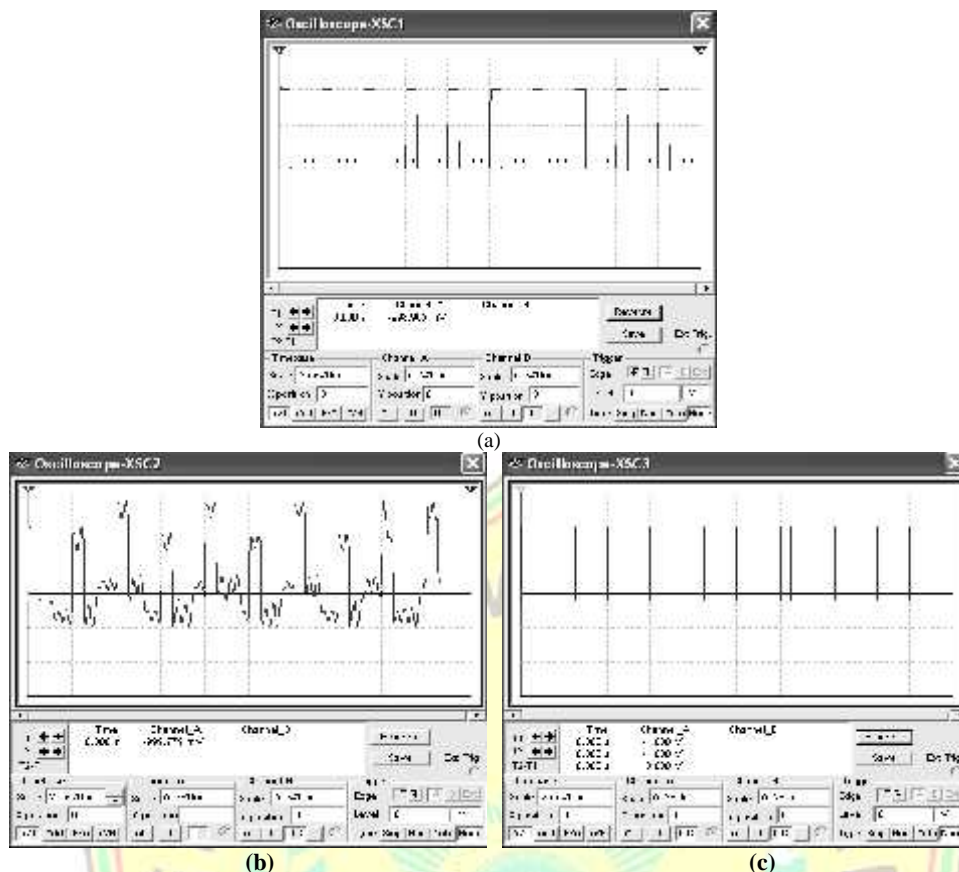
Hal yang sangat perlu diperhatikan dalam sistem komunikasi berbasis chaos adalah kesamaan antara parameter pada transmitter dan receiver. Dalam sistem keamanan komunikasi, sinyal informasi dimodulasikan dengan sinyal *chaotic* yang dihasilkan oleh

*transmitter*, kemudian sinyal modulasi inilah yang akan ditransmisikan pada jaringan komunikasi kabel, setelah itu pada *receiver* sinyal informasi didemodulasi sehingga terpisah dari sinyal *chaotic* pembawanya. Tingkat keberhasilan sistem ini amat bergantung pada tingkat sinkronisasi *chaotic* antara *transmitter* dan *receiver*nya. Dalam artikel ini, diperlihatkan simulasi *numeric* sistem keamanan komunikasi berbasis chaos menggunakan MultiSIM seperti terlihat pada Gambar. 5.

Gelombang sinyal kotak dijumlahkan dengan sinyal *chaotic*  $x$ , dan sinyal transmisi  $S(t) = x + i(t)$  ditransmisikan menuju *receiver*. Sinyal *chaotic*  $x_r$  yang dihasilkan juga oleh *receiver* digunakan sebagai substraktor sehingga dihasilkan sinyal *retrieved* sebagai output dari *receiver*,  $[x+i(t)]-x_r = i'(t)$ , jika  $x = x_r$ . Gambar. 5 memperlihatkan skema sirkuit sebagai implementasi sirkuit Chua dalam sistem keamanan komunikasi. Gambar. 6 menunjukkan hasil simulasi MultiSIM® untuk sistem keamanan komunikasi.



Gambar. 5. Sirkuit sistem keamanan komunikasi berbasis sirkuit *chaotic* Chua.



Gambar. 6. Output MultiSIM® sistem keamanan komunikasi berbasis sirkuit *chaotic* Chua: (a) sinyal informasi  $i(t)$ ; (b) sinyal transmisi *chaotic*  $S(t)$ ; (c) sinyal *recovery*  $i'(t)$ .

## V. SIMPULAN

Dalam artikel ini telah dipelajari dan dilakukan simulasi *numeric* sirkuit osilator *chaotic* menggunakan Matlab dan sinkronisasi *chaotic* sistem identik dari sirkuit Chua serta aplikasinya dalam sistem keamanan komunikasi. Dalam artikel ini, sistem dinamika dari sirkuit *chaotic* Chua dianalisis secara detail dengan memvariasikan parameter kontrol  $R$ . Telah ditunjukkan juga bahwa sinyal *chaotic* dapat disinkronisasi secara sempurna sehingga dapat digunakan dalam sistem keamanan komunikasi. Simulasi sinkronisasi *chaotic* dua sirkuit Chua dan aplikasinya dalam sistem keamanan komunikasi dibuat menggunakan program MultiSIM.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Pecora and T. Carroll, Synchronization in Chaotic Systems, *Physical Review Letters*, Vol. 64, pp. 821-823, 1990.
- [2] L. Pecora and T. Carroll, Driving systems With Chaotic Signals, *Physical Review Letters*, Vol. 44, pp. 2374-2383, 1991.
- [3] T. Matsumoto, A chaotic attractor from Chua's circuit. *IEEE Trans. Circuits Syst., CAS* 31(12):1055|1058, 1984.
- [4] M.P. Kennedy, Robust Op Amp Implementation of Chua's Circuit, *Frequenz*, Vol.46, no.3-4, pp.66-80, 1992.
- [5] M.P. Kennedy, Three Steps to chaos- Part I: Evolution, *IEEE Transaction on*

- Circuits and Systems*, Vol.40, no.10, pp.640-656, October 1993.
- [6] M.P. Kennedy, Three Steps to chaos-Part II: A Chua's Circuit Primer, *IEEE Transaction on Circuits and Systems*, Vol.40, no.10, pp.657-674, October 1993.
- [7] L. O. Chua et al, A Universal Circuit for Studying and Generating Chaos-Part I : Routes to Chaos, *IEEE Transaction on Circuit and Systems*, Vol.40, no10, October 1993, pp.732-744.
- [8] L. O. Chua et al, A Universal Circuit for Studying and Generating Chaos-Part II : Strange Attractors, *IEEE Transaction on Circuit and Systems*, Vol.40, no10, October 1993, pp.745-762.
- [9] J. C. Feng, & C. K. Tse, "Reconstruction of Chaotic Signals with Applications to Chaos-Based Communications". Tsinghua University Press dan World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007.
- [10] I. Pehlivan, and Y. Uyaroglu, Rikitake Attractor and It's Synchronization Application for Secure Communication Systems. *Journal of Applied Sciences*, 7(2):232-236, 2007.
- [11] T. H. Lee, and J. H. Park, Generalized functional projective synchronization of Chen-Lee chaotic systems and its circuit implementation. *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 5(7), pp. 1183-1190, July 2010.
- [12] I. Pehlivan, Y. Uyaroglu, and M. Yogun, Chaotic oscillator design and realizations of the Rucklidge attractor and its synchronization and masking simulations. *Scientific Research and Essays*, Vol. 5(16), pp. 2210-2219, 18 August, 2010

